

Андреев В.П., Андриянов А.И., Плахотская Ж.В.

РИСКИ МЕТАЛЛОТОКСИКОЗОВ У НАСЕЛЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ

ФГБОУ «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова», 194044, г. Санкт-Петербург

В связи с многократным увеличением промышленной эмиссии тяжелых металлов во всем мире возрос риск от использования в пищу дикорастущих растений и животных. Показано, что морские водоросли и моллюски обладают повышенной способностью накапливать токсиканты. Обсуждается возможность использования в пищу гидробионтов северных морей, взятых непосредственно из мест их обитания. Анализ имеющихся данных литературы показал, что в условиях Белого и Баренцева морей вероятность металлотоксикозов весьма незначительна.

Ключевые слова: автономное существование; тяжелые металлы; питание гидробионтами; водоросли; моллюски; профилактика металлотоксикозов в полевых условиях; обзор.

Для цитирования: Андреев В.П., Андриянов А.И., Плахотская Ж.В. Риски металлотоксикозов у населения береговой зоны северных морей. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(3): 254-258. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-3-254-258>

Для корреспонденции: Андреев Владимир Павлович, канд. биол. наук, старший науч. сотр. научно-исследовательского отдела питания и водоснабжения НИЦ Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. E-mail: vpandreev@mail.ru

Andreev V.P., Andriyanov A.I., Plakhotskaya Z.V.

RISKS OF METAL TOXICOSES FROM THE RECEPTION OF FOOD OF NATURAL ORIGIN IN THE COASTAL LINE OF THE NORTHERN SEAS

S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, 194044, Russian Federation

Due to the multifold gain of industrial emissions of heavy metals in the world the danger of the use wild plants and animals in food has increased. Seaweed and shellfish have the high ability to accumulate toxins in their bodies. There is considered the intake of aquatic organisms of the Northern seas with food, taken directly from their habitats. The analysis of available literature data showed that in the conditions of the White and Barents seas, the probability of metal toxicosis seem to be negligible.

Key words: autonomous existence; heavy metals; food by aquatic organisms; algae; mollusks; prevention of metal toxicosis in field conditions; overview.

For citation: Andreev V.P., Andriyanov A.I., Plakhotskaya Z.V. Risks of metal toxicoses from the reception of food of natural origin in the coastal line of the Northern Seas. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(3): . (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-3->

For correspondence: Vladimir P. Andreev, MD, PhD, Senior researcher of the Research Department of Nutrition and Water Supply of the Research Center of the S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, 194044, Russian Federation. E-mail: vpandreev@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: 05 July 2016

Accepted: 16 January 2017

Введение

В результате аварии водного или воздушного судна человек может оказаться в условиях автономного существования, когда его потребности в пище должны удовлетворяться за счет природных растительных и животных объектов. Вероятность и длительность автономного существования выше на наименее заселенных участках суши, например в береговой зоне северных морей, в связи с эксплуатацией Северного морского пути [1]. Безопасность питания природным пищевым материалом ставится под сомнение в связи с ростом антропогенного давления на биосферу [2]. Данный обзор посвящен феномену риска употребления в пищу морских гидробионтов северных морей в связи с загрязненностью морских вод тяжелыми металлами.

Риски пищевого использования водорослей. Морские водоросли (фикиобионты, макрофиты) являются наиболее доступной растительной пищей для людей, оказавшихся на морском побережье в результате аварийных ситуаций. Видовые названия некоторых из них, например *аларии съедобной*, непосредственно указывают на пищевое применение. В пищу пригодны практически все водоросли,

хотя некоторые грубые формы требуют специальной обработки, а отличающиеся низкими вкусовыми качествами – дополнительными приправ. Редкие случаи отравления объясняются, например, проглатыванием вместе с водорослевым материалом икры ядовитых моллюсков и/или рыб. В условиях Крайнего Севера водоросли часто являются единственным пищевым субстратом, способным удовлетворить потребности человека в микроэлементах и витаминах [3]. В Российской Федерации в пищевой промышленности используются добытые из бурых и красных водорослей альгиновая кислота и ее соли (при изготовлении варенья, джемов, хлебобулочных изделий, мороженого и других), маннит (в диетических продуктах), агар и агарозы (в кондитерских изделиях, мороженом), каррагинаны (в пищевых гидроколлоидах) [4]. Таким образом, водоросли должны быть признаны хозяйственно значимыми растениями. Однако все съедобные водоросли являются концентраторами тяжелых металлов [5]. При этом содержание металлотоксикантов в водных растениях зависит от их концентрации в морской воде. В связи с данным обстоятельством следует подчеркнуть, что переход мировой цивилизации в XXI век произошел на фоне гло-

бальной промышленной эмиссии токсичных элементов, которая значительно превысила их выделение из природных источников. Поглощение и накопление токсикантов хозяйственно значимыми растениями, в том числе водорослями и морскими травами, открывает путь для поступления потенциально опасных для здоровья элементов в пищу человека и корма животных. Особо остро проблема предупреждения поступления в организм металлоидов – мышьяка и селена. Такая же ситуация с тяжелыми металлами – кадмием, ртутью, свинцом [2].

В ходе эволюции водоросли приобрели способность накапливать некоторые металлы в количествах, в 1000–10000 раз превышающих их содержание в воде [6]. Установлено также явление группового концентрирования фикобионтами целого ряда металлов [7]. Способность макроводорослей аккумулировать металлы из воды столь высока, что может быть использована для биологической очистки морской среды и промышленных стоков [8]. Например, зеленую водоросль *Ulva lactuca* предлагают применять для очистки морской воды от ртути при ее концентрациях от 5 до 50 мкг/л [9]. Хром и цинк хорошо удаляется при помощи красной водоросли *Gracilaria* spp. Ее фильтрационный потенциал составлял в экспериментах 52,5–83,4 и 36,5–91,7% к хрому и цинку соответственно [10]. Неживая биомасса красной водоросли *Kappaphycus alvarezii* может использоваться для высокоэффективного связывания из морской воды кадмия, кобальта, хрома и меди [11]. Таким образом, способность к обменной адсорбции ионов тяжелых металлов в морской воде демонстрируют даже мертвые водоросли [12].

В основе высокой устойчивости к металлам водорослей лежит множественность их адаптивных механизмов, реализуемых на клеточном и молекулярном уровнях [13]: исключение проникновения значительных количеств металлов в клетку за счет непроницаемости плазмалеммы и связывания их вне клетки или на структурах клеточной стенки; активное (или пассивное) выведение металла из клетки; отложение в полифосфатных гранулах; хелатирование индуцируемыми металлотионеинами и фитохелатинами; связывание с SH-группами конститутивных для клетки соединений; детоксикация путем биотрансформации элемента в формы, обладающие меньшей токсичностью.

Наиболее эффективным механизмом детоксикации приходится признавать тот, который обеспечивает связывание металлов на структурах клеточной стенки. При этом сами вещества клеточных оболочек макроводорослей и морских трав, будучи освобождены от тяжелых металлов, не только не токсичны для млекопитающих, но и обладают лечебно-профилактическими свойствами. Особую роль в профилактике токсикозов могут сыграть некрахмальные полисахариды. К ним относятся *альгинаты*, *каррагинаны* и *фукоиданы* водорослей и *пектины* морских трав. В отличие от крахмала и гликогена эти соединения не гидролизуются амилазами пищеварительной системы человека и подвергаются лишь частичной деструкции ферментами микрофлоры толстой кишки [14]. В нативном состоянии эти полисахариды за счет водородных связей формируют мощные гидратные оболочки. В присутствии двухвалентных ионов возникают сшивки близко расположенных полимерных цепей, и их коллоидные системы преобразуются в гели. Механизм гелеобразования обеспечивает поглощение и удержание водорослями тяжелых металлов и потенциально токсичных элементов из внешней среды, а приготовленной из водорослей пищей – из внутренней среды организма человека. Следовательно, эффект использования водорослей в питании человека может быть

как лечебно-профилактическим, так и негативным в зависимости от того, накоплены ли ими уже тяжелые металлы. Содержание и распределение тяжелых металлов и биогенных элементов может существенно изменяться в ходе предварительной обработки водорослевого сырья [15].

Видовые различия в способности водорослей аккумулировать металлы определяются разнообразием сорбирующих веществ матрикса их клеточных стенок. Особенно долго тяжелые металлы удерживаются альгинатами – веществами клеточных стенок бурых водорослей. Например, цинк-65 из *Laminaria digitata* и *Fucus vesiculosus* выводится около 100 дней, а железо-59 из *Fucus serratus* – около 180 дней [16]. Содержание альгинатов различно у разных водорослей. Например, у *Alaria angusta* этот показатель достигает 32%, в то время как у *Laminaria bongardiana* их количество в расчете на сухую массу ниже и не превышает 20,6–28,6% [17]. Помимо альгинатов в клеточных оболочках бурых водорослей велико содержание фукоиданов. Они также обладают сорбирующими свойствами относительно металлотионеинов. Однако прочность связей этого типа полисахаридов с тяжелыми металлами невысока [18]. Отмечены также видовые особенности и различия в строении фукоиданов разных водорослей [19]. В оболочках клеток красных водорослей тяжелые металлы связываются каррагинанами. Последние благодаря высокой желирующей способности находят широкое применение в пищевой промышленности [20]. Данный тип полисахаридов по удерживающей способности уступает как альгинатам, так и фукоиданам, а ионы щелочных и щелочно-земельных элементов особенно легко вытесняют тяжелые металлы, сорбированные каррагинанами [18]. Пектины морских трав, а именно зостерин, получаемый из *Zostera marina* (взморник), связывает элементы согласно модели «egg-box structure», описанной для альгинатов [21]. Именно свободные карбоксильные группы их полигалактуроновых кислот способны связывать катионы металлов. Однако эффективность связывания у частично метилированных пектинов взморника ниже, чем у альгинатов, поскольку метилирование приводит к трансформации связывающих центров в содержащие не 4, а лишь 2–3 свободные карбоксильные группы, с которыми прочность связи тяжелых металлов ниже [18].

Таким образом, при всем разнообразии сорбирующих полимеров клеточных оболочек разных водорослей и неодинаковой их удерживающей способности следует констатировать, что некрахмальные полисахариды практически всех морских макрофитов представляют собой мощные внеклеточные барьеры на пути проникновения металлов и металлоидов внутрь живых клеток водорослей. Из этих же структур металлотионеины могут извлекаться в организме человека и вызывать его отравление. Например, попадание некрахмальных полисахаридов в составе пищи в двенадцатиперстную кишку, где реакция среды слабощелочная (pH 8–9), должно приводить к обменному процессу и вытеснению части тяжелых металлов в полость кишечника.

Риски пищевого использования беспозвоночных. Доступной животной пищей на морском побережье могут быть беспозвоночные: моллюски, ракообразные, черви. Многие из них имеют покровы, содержащие в хитин. Основной структуры хитина являются полисахариды, подобные целлюлозе по типу химической связи, но построенные на основе глюкозамина, а не глюкозы. Как нативный хитин, так и являющиеся его производными хитозаны способны связывать тяжелые металлы [18, 22]. Хитин и хитозаны подобно некрахмальным полисахаридам водорослей являются внешними барьерами, препятствующими

щими проникновению металлов в мягкие ткани ракообразных. Однако целый ряд морских беспозвоночных не имеют хитинового скелета. Например, на твердых субстратах северных морей обычно доминируют моллюски родов *Mytilus*, *Cyrtodaria*, *Macoma*, *Astarte* и другие [23]. Их способ питания основан на фильтрации сквозь пищеварительную систему больших масс водной взвеси. При этом тяжелые металлы аккумулируются клетками мягких тканей. Данный факт определяет актуальность токсикологической оценки именно этой группы животных, часто используемых человеком в пищу в условиях автономного существования. В отличие от ракообразных, имеющих мощный хитиновый панцирь, у моллюсков основным органом, депонирующим металлы, является пищеварительная железа (гепатопанкреас). Ее клетки не имеют оболочек, способных удерживать ионы на своих структурах. В связи с этим поглощаемый из внешней среды металл концентрируется преимущественно в цитозоле, где связывается с высокомолекулярными белками [24]. Поэтому для объективной и полной оценки степени загрязненности пищевого материала предложено полагаться на такой показатель, как общее содержание металла в пищеварительной железе [25]. Брюхоногие моллюски *Littorina littorea*, как и мидии, способные служить пищей в экстремальных ситуациях, обнаруживают зависимость устойчивости к тяжелым металлам от других параметров среды. На их выживаемость и состояние влияют уровень солёности морской воды [26], факторы сезонности [27], глубина обитания [28]. Различные виды брюхоногих и двустворчатых моллюсков обладают разной способностью к биоконцентрированию металлов. Например, в 8 точках отбора проб, расположенных вдоль побережья залива Бохай (северо-запад Желтого моря), максимальное биоаккумуляционное значение меди и цинка отмечено у двустворчатой *Crassostrea talienwhanensis*, никеля – у брюхоногой *Rapana philippinarum*, кадмия – у *Rapana venosa*. Уровень содержания кадмия, меди и цинка в некоторых моллюсках превышал предельно допустимую концентрацию (ПДК) [29]. В распределении тяжелых металлов в гидробионтах разных морей обнаруживаются региональные особенности. При этом наблюдается высокая вариабельность в содержании металлов в разных видах биоты и разных местообитаниях [30]. Например, сравнение микроэлементного состава мягких тканей мидий Японского и Белого морей показало, что загрязненность тяжелыми металлами япономорского бассейна выше, чем беломорского [31]. У берегов провинции Чжэцзян (Китай, Восточно-Китайское море), где уровень загрязнения гидробионтов металлами ниже допустимого для потребления этого вида пищи человеком, содержание тяжелых металлов в разных видах двустворчатых моллюсков уменьшалось в ряду $Zn > Cu > As > Cd > Pb > Hg$. Показаны пространственные различия в концентрациях цинка и свинца и отсутствие таковых для ртути и кадмия [32]. В исследованиях содержания элементов в гидробионтах особое значение имеет диапазон изменения концентраций и крайние, минимальные и максимальные значения на его границах. Например, содержание мышьяка в моллюсках, ракообразных и рыбах морей тропических, умеренных и полярных широт колеблется преимущественно в пределах 5–200 мкг/г и не связано с географическими характеристиками акваторий. Исключение составляет Средиземное море, в котором нижний предел концентраций мышьяка оказался выше (45–110 мкг/г) [33].

Таким образом, способности моллюсков пропускать сквозь себя огромные массы водной взвеси или поглощать формирующиеся на поверхностях подводных предметов

обрастания создают условия для накопления в их мягких тканях токсичных элементов, если таковые имеются в окружающей среде. Неравномерность распределения металлотороксикантов в Мировом океане говорит о неоднородности рисков, связанных с использованием в пищу беспозвоночных, в разных точках его береговой линии.

Оценка токсикологической обстановки на Белом и Баренцевом морях. Среди северных морей Российской Федерации наибольшему антропогенному воздействию подвержены Белое и Баренцево. В большинстве населенных пунктов, расположенных на побережье Белого моря, очистные сооружения отсутствуют либо недостаточно эффективны. По этой причине в море поступают существенные количества отходов промышленности и сельского хозяйства, а также бытовых стоков. Около 95% массы всех загрязняющих веществ поступает в морскую воду с береговым стоком, в том числе речным [34]. Довольно распространенными загрязнителями морской воды являются нефтепродукты. Их токсичными компонентами являются не только углеводороды, но и тяжелые металлы. Последние попадают в окружающую среду в процессе добычи, транспортировки и переработки нефти. Так, в период с 1990 по 1994 г. ежегодно в Белое море поступало около 4000 т нефтесодержащих отходов, примерно 1000 т детергентов, 30 т фенола и несколько менее 1 т хлорсодержащих пестицидов [35]. Эти объемы приходится признать крайне незначительными. Годовой сток основных загрязнителей – нефтесодержащих отходов, даже если считать их полностью состоящими из нефти, что, конечно, не так, в объеме моря разбавляется более чем в 10^{12} раз. Это могло бы в общей толще воды составить концентрацию 0,74 мг/м³. Однако нефтепродукты распространяются в слое ветрового перемешивания. По этой причине их средняя концентрация в поверхностных водах выше и оценивается в 4,4 мг/м³. Таким образом, даже в наиболее неблагоприятных зонах Двинского и Кандалакшского заливов нефтяное загрязнение обычно не превышает ПДК, предусмотренных приказом Росрыболовства от 18.01.2010 № 20, а именно 50 мг/м³ [36]. Нефтеорганические вещества, а также другие соединения, перечисленные выше, могут попадать в море не только в результате антропогенного воздействия, но и естественным путем в результате эрозии горных пород. Это также может приводить к увеличению содержания в воде таких элементов, как цинк, свинец, медь и других [37]. Однако наиболее мощным источником эмиссии тяжелых металлов в бассейны Белого и Баренцева морей является комплекс предприятий цветной металлургии ОАО «Кольский горно-металлургический комбинат». Его основные предприятия «Печенганикель» и «Североникель» расположены в городах Мончегорск и Никель. Загрязнения распространяются воздушным и водным путями. Установлено, что воздушные загрязнения медью выше над Белым морем, а цинком и кобальтом – над Баренцевым [38]. Несмотря на эти обстоятельства, непосредственные измерения концентраций тяжелых металлов в ихтиофауне (сельдь), беспозвоночных (моллюски, иглокожие, черви и ракообразные), водорослях (ламинария) показали низкое содержание потенциальных токсикантов в гидробионтах Баренцева моря.

Токсикологическая оценка неоднократно проводилась и в условиях Белого моря. Анализ элементного состава мягких тканей мидий (*Mytilus edulis*) в Онежском и Кандалакшском заливах, а также в прибрежье Соловецких островов, выполненный в 1989–1991 и 1997 гг., не выявил превышения ПДК [39].

Оценка содержания тяжелых металлов в *Laminaria*

saccharina, произрастающей в районе Соловецких островов, в 2006–2007 гг. показала, что концентрации свинца, кадмия и никеля в слоевищах водорослей возрастает от первого года развития к третьему [40]. При более подробном изучении содержания тяжелых металлов и мышьяка в беломорских гидробионтах Кандалакшского залива, проведенном в 2008 г., установлено, что в водорослях и морских травах потенциально токсичные элементы образуют устойчивый ряд в порядке убывания их концентраций: Fe > Zn > As > Mn > Cu > Pb > Cd > Hg. Ряд концентраций в мягких тканях мидий имел несколько иной вид: Fe > Zn > Cu > As > Cd > Pb > Mn > Hg. Отмечено также, что твердая раковина моллюска аккумулирует марганец и мышьяк в пересчете на сухую массу даже эффективнее, чем мягкие ткани. При этом как для растительных, так и для животных объектов превышения допустимого уровня содержания ни по одному из элементов отмечено не было [41].

Заключение

Все имеющиеся данные литературы указывают на отсутствие превышения ПДК в гидробионтах, обитающих в береговой зоне северных морей РФ вдали от промышленных центров и поселений людей. Очевидно, использование здесь в пищу моллюсков и водорослей не может привести к металлотоксикозам и причинить вред здоровью людей, находящихся в условиях автономного существования. Однако с течением времени ситуация может меняться. В качестве профилактической меры, позволяющей снизить риск отравлений, можно рекомендовать не использовать в пищу даже в экстремальных ситуациях те органы гидробионтов, в которых обычно происходит биоаккумуляция тяжелых металлов. К их числу следует отнести жабры и печень рыб, а также гепатопанкреас моллюсков.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

(п.п. 2, 6, 8–12, 14, 16, 19–22, 26–30, 32, 33, 35 см. References)

1. Андреев В.П., Андриянов А.И. *Пищевые ресурсы береговой зоны Северных морей*. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена; 2014.
2. Коровкина Н.В., Богданович Н.И., Кутакова Н.А. Исследование состава бурых водорослей Белого моря с целью дальнейшей переработки. *Химия растительного сырья*. 2007; (1): 59–64.
3. Подкорытова А.В. Современные тенденции и аспекты в технологии морских водорослей-макрофитов. В кн.: *Сборник тезисов международного семинара «Освоение водных биологических ресурсов Арктики и международное сотрудничество»*. Мурманск: МГТУ; 2010.
4. Потопов В.В., Мурадов С.В., Каплина А.М. Водоросли макрофиты как концентраторы тяжелых металлов. В кн.: *Материалы I Всероссийской научно-практической конференции «Экология Камчатки и устойчивое развитие региона»*. Петропавловск-Камчатский; 2013: 230–3.
5. Саенко Г.Н. *Металлы и галогены в морских организмах*. М.: Наука; 1992.
6. Ипатов В.И. *Адаптация водных растений к стрессовым абиотическим факторам среды*. М.: Графикон-принт; 2005.
7. Аминина Н.М., Вишневецкая Т.И. Исследование процессов экстракции биогенных и токсичных элементов из бурых водорослей, произрастающих в различных по загрязненности акваториях Японского моря. *Известия ТИИРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра)*. 2011; 164: 384–91.
8. Кальченко Е.И. Оценка некоторых ламинариевых водорослей, произрастающих у восточного побережья Камчатки, как источника биологически активных веществ. В кн.: *Тезисы докладов 3 Международной научно-практической конференции «Морские прибрежные экосистемы»*. Владивосток; 2008.

18. Хотимченко М.Ю. *Сорбционные свойства и фармакологическая активность некрахмальных полисахаридов*: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. Владивосток; 2011.
19. Голиков А.Н., Сиренко Б.И., Голиков А.А., Петряшев В.В., Гагаев С.Ю. Распределение донных биоценозов мелководий Чукотского моря по результатам водолазных исследований. *Экосистемы и биоресурсы Чукотского моря и сопредельных акваторий*. 2009; (64): 56–62.
20. Слободенюк А.Ф., Челомин В.П., Бельчева Н.Н., Кумейко В.В. Исследование механизмов аккумуляции и детоксикации кадмия у приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis*. В кн.: *Материалы 2 научной конференции с участием стран СНГ «Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов»*. Петрозаводск; 2007: 143–4.
21. Сякина И.Г., Чернова Е.Н., Кумейко В.В., Табакова Е.В., Зюмченко Н.Е., Швед Н.А. и др. Комплексный биомониторинг состояния камбал и моллюсков из охраняемых и загрязненных районов залива Петра Великого и бухты Киевка. *Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы иммунологии, патологии и охраны здоровья гидробионтов»*. М.; 2007: 419–23.
22. Чернова Е.Н., Христофорова Н.К. Сравнительная оценка микроэлементного состава мидий Японского и Белого морей. *Проблемы региональной экологии*. 2008; (1): 64–68.
23. Немировская И.А. Содержание и состав углеводородов в воде и донных осадках Карского моря. *Океанология*. 2010; 50 (5): 758–70.
24. Наумов А.Д. *Аномальный выброс морских звезд в Двинском заливе весной 1990 г.* СПб; 2011.
25. Информационный бюллетень. Состояние геологической среды континентального шельфа Балтийского, Белого и Баренцева морей. СПб; 2007.
26. Матишов Г.Г., ред. *Биология и океанография Северного морского пути: Баренцево и Карское моря*. М.: Наука; 2007.
27. Бергер В.Я., Наумов А.Д., Сухотин А.А. Биологические ресурсы Белого моря: изучение и использование. *Исследования фауны морей*. 2012; 69 (77): 320–5.
28. Шарина З.Н., Чернова В.Г., Щетинина Г.А. Оценка величины накопления тяжелых металлов *Laminaria saccharina* в зависимости от возраста. В кн.: *Тезисы докладов 3 Международной научно-практической конференции «Морские прибрежные экосистемы»*. Владивосток; 2008: 217–8.
29. Демина Л.Л. Тяжелые металлы в глобальных биофильтрах океана Геология морей и океанов. В кн.: *Материалы 18 Международной конференции (Школы) по морской геологии*. М.; 2009: 56–61.

References

1. Andreev V.P., Andriyanov A.I. *Food Resources of a Coastal Zone of the North Seas [Pishchevye resursy beregovoy zony Severnykh morey]*. St. Petersburg: RGPU im. A.I. Gertsena; 2014. (in Russian)
2. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimic*. 2006; 88 (11): 1707–19.
3. Korovkina N.V., Bogdanovich N.I., Kutakova N.A. Research of structure of brown seaweed of the White sea for the purpose of the further processing. *Khimiya rastitel'noy syr'ya*. 2007; (1): 59–64. (in Russian)
4. Podkorytova A.V. Modern lines and aspects in technology of sea seaweed-makrofitov. In: *The Collection of Theses of the International Seminar «Development of Water Biological Resources of Arctic Regions and the International Cooperation» [Sbornik tezisev mezhduнародного seminar «Osvoenie vodnykh biologicheskikh resursov Arktiki i mezhduнародное sotrudnichestvo»]*. Murmansk: MGTU; 2010. (in Russian)
5. Potapov V.V., Muradov S.V., Kaplina A.M. Seaweed makrofity as concentrators of heavy metals. In: *Materials of I All-Russia Scientifically-practical Conference «Ecology of Kamchatka and a Region Sustainable Development» [Materialy I Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ekologiya Kamchatki i ustoychivoe razvitie regiona»]*. Petropavlovsk-Kamchatskiy; 2013: 230–3. (in Russian)
6. Bailey R.S., Stokes P.M. *Evaluation of filamentous algae as biomonitors of metal accumulation on softwater lakes: A multivariate approach. Aquat. Toxicol. and Hazard Assessment 7th symp., Milwaukee*. Wis. Phyladelphia; 1985.
7. Saenko G.N. *Metals and Halogens in Sea Organisms [Metally i galogeny v morskikh organizmakh]*. Moscow: Nauka; 1992: 200.
8. Kaixing L., Tang J.J., Jiang D. Yingyong shengtai xuebao. *Chin. J. Appl. Ecol*. 2006; 17 (1): 118–22.
9. Costa S., Crespo D., Henriques B.M.G., Pereira E., Duarte A.C., Pardal M.A. Kinetics of mercury accumulation and its effects on *Ulva lactuca* growth rate at two salinities and exposure conditions. *Water, Air, and Soil Pollut.* 2011; 217 (1-4): 689–99.

10. Kang K.H., Sui Z. Removal of eutrophication factors and heavy metal from a closed cultivation system using the macroalgae, *Gracilaria* sp. (Rhodophyta). *Oceanol. and limnol.* 2010; 28 (6): 1127–30.
11. Kumar K., Ganesan K., Rao P.V. Heavy metal chelation by non-living biomass of three colc forms of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty. *J. Appl. Phycol.* 2008; 2 (1): 63–6.
12. Patron-Prado M., Casas-Valdez M., Serviere-Zaragoza E., Zenteno-Savín T., Lluch-Cota D.B., Méndez-Rodríguez L. Biosorption capacity for cadmium of brown seaweed *Sargassum sinicola* and *Sargassum lapazeanum* in the Gulf of California. *Water, Air and Soil Pollut.* 2011; 221 (1-4): 137–44.
13. Ipatova V.I. *Adaptation of Water Plants to Stressful Abiotic to Factors of Environment [Adaptatsiya vodnykh rasteniy k stressovym abioticheskim faktoram sredy]*. Moscow: Grafikon-print; 2005. (in Russian)
14. Wang J.M., de Souza R., Kendall C.W., Emam A., Jenkins D.J. Colonic health: fermentation and short chain fatty acids. *J. Clin. Gastroenterol.* 2006; 40 (3): 235–43.
15. Aminina N.M., Vishnevskaya T.I. Research of processes of extraction biogene and toxic elements from the brown seaweed growing in various on impurity water areas of Sea of Japan. *Izvestiya TINRO (Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybkhozyaystvennogo tsentra)*. 2011; 164: 384–91. (in Russian)
16. Bryan G.W., Hummerstone L.G. Brown seaweed as indicator of heavy metals in estuaries in south-west England. *J. Mar. Biol. Assoc.* 1973; 53: 705–20.
17. Kal'chenko E.I. Assessment of some laminariyevykh the seaweed growing at east coast of Kamchatka, as source of biologically active substances. In: *Theses of reports of 3 International scientifically-practical conferences «Sea coastal ecosystems» [Tezisy dokladov 3 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Morskije pribrezhnye ekosistemy»]*. Vladivostok; 2008: 321. (in Russian)
18. Khotimchenko M.Yu. *Sorption properties and pharmacological activity not starched polysaccharides*: Diss. Vladivostok; 2011. (in Russian)
19. Pomin V.H., Mourão P.A.S. Structure, biology, evolution and medical importance of sulfated fucans and galactans. *Glycobiology.* 2008; 18: 1016–27.
20. Collén P.N., Lemoine M., Daniellou R., Guégan J.P., Paoletti S., Helbert W. Enzymatic degradation of κ-carrageenan in aqueous solution. *Bio-macromolecules.* 2009; 10: 1757–67.
21. Caffall K.H., Mohnen D. The structure, function, and biosynthesis of plant cell wall pectic polysaccharides. *Carbohydr. Res.* 2009; 344: 1879–900.
22. Vijayaraghavan K., Mahadevan Arun., Umid Man J., Balasubramanian R. Biosorption of As (V) onto the shells of the crab (*Portunus sanguinolentus*): Equilibrium and kinetic studies. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2009; 48 (7): 3589–94.
23. Golikov A.N., Sirenko B.I., Golikov A.A., Petryashev V.V., Gagaev S.Yu. Distribution of ground biocenoses shoal of sea of Chukotsk by results of diving researches. *Ekosistemy i bioresursy Chukotskogo morya i sopredel'nykh akvatoriy.* 2009; (64): 56–62. (in Russian)
24. Slobodenyuk A.F., Chelomin V.P., Bel'cheva N.N., Kumeyko V.V. Research of mechanisms of accumulation and detoxication cadmium at a seaside comb *Mizuhopecten yessoensis*. In: *Materials of 2 scientific conferences with participation of the CIS countries «Modern problems of physiology and biochemistry of water organisms» [Materialy 2 nauchnoy konferentsii s uchastiem stran SNG «Sovremennye problemy fiziologii i biokhimii vodnykh organizmov»]*. Petrozavodsk; 2007: 143–4. (in Russian)
25. Syasina I.G., Chernova E.N., Kumeyko V.V., Tabakova E.V., Zyumchenko N.E., Shved N.A., et al. Complex biomonitoring of a condition kambat and molluscs from the protected and polluted areas of Peter the Great bay and bay Kievka. In: *Materials of the International scientifically-practical conference «Problems of immunology, a pathology and health protection zhidrobiontov» [Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy immunologii, patologii i okhrany zdorov'ya gidrobiontov»]*. Moscow; 2007: 419–23. (in Russian)
26. Garcia-Luque E. Biological adverse effects on bivalves associated with trace metals under estuarine environments. *Environ. Monit. Assess.* 2007; 129 (1-3): 315–20.
27. Ruelas-Inzunza J. Mercury in biota and surficial sediments from Coat-zacoalcos estuary, Gulf of Mexico: distribution and seasonal variation. *Water, Air, and Soil Pollut.* 2009; 197 (1-4): 165–74.
28. Sorokolowski A. Abnormal features of *Macoma balthica* (Bivalvia) in the Baltic Sea: alerting symptoms of environmental adversity. *Mar. Pollut. Bull.* 2004; 49 (1-2): 17–22.
29. Liang L.N. Evaluation of mollusks as biomonitors to investigate heavy metal contaminations along the Chinese Bohai Sea. *Sci. Total Environ.* 2004; 324 (1-3): 105–13.
30. Abdallah Maha A.M., Abdallah Aly M.A. Biomonitoring study of heavy metals in biota and sediments in the South Eastern coast of Mediterranean sea, Egypt. *Environ. Monit. Assess.* 2008; 146 (1-3): 139–45.
31. Chernova E.N., Khristoforova N.K. Comparative estimation of microelement structure of mussels of the Japanese and White seas. *Problemy regional'noy ekologii.* 2008; (1): 64–68. (in Russian)
32. Huang H., Wu J.Y., Wu J.H. Heavy metal monitoring using bivalved shellfish from Zhejiang coastal waters, East China Sea. *Environ. Monit. Assess.* 2007; 129 (1-3): 315–20.
33. Fattorini D., Notti A., Regoli F. Characterization of arsenic content in marine organisms from temperate, tropical and polar environments. *Chem. Ecol.* 2006; 22 (5): 405–14.
34. Nemirovskaya I.A. The maintenance and structure of hydrocarbons in water and ground deposits of Kara sea. *Okeanologiya.* 2010; 50 (5): 758–70. (in Russian)
35. Savinov V., Savinova T., Dahle S., Berger V., eds. *Contaminants. White Sea. Ecology and Environment*. Tromso; 2001: 123–37.
36. Naumov A.D. *Abnormal Emission of Starfishes in the Dvinsky Gulf in the Spring of 1990 g [Anomal'nyy vybros morskikh zvezd v Dvinskom zalive vesny 1990 g]*. St. Petersburg; 2011. (in Russian)
37. *The newsletter. A condition of the geological environment of a continental shelf Baltic, White and the seas Barentseva*. St. Petersburg; 2007. (in Russian)
38. Matishov G.G., ed. *Biology and Oceanography of Northern Sea Way: Barents and Karsky Exhausting [Biologiya i okeanografiya Severnogo morskogo puti: Barentsevo i Karskoe morya]*. Moscow: Nauka; 2007. (in Russian)
39. Berger V.Ya., Naumov A.D., Sukhotin A.A. Biological resources of the White sea: studying and use. *Issledovaniya fauny morey.* 2012; 69 (77): 320–5. (in Russian)
40. Sharina Z.N., Chernova V.G., Shchetinina G.A. Estimation of size of accumulation of heavy metals *Laminaria saccharina* depending on age. In: *Theses of reports of 3 International scientifically-practical conferences «Sea coastal ecosystems» [Tezisy dokladov 3 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Morskije pribrezhnye ekosistemy»]*. Vladivostok; 2008: 217–18. (in Russian)
41. Demina L.L. Heavy metals in global biofilters of ocean. In: *Materials of 18 International conference (Schools) on sea geology «Geology of the seas and oceans» [Tyazhelye metally v global'nykh biofil'trakh okeana Geologiya morey i okeanov. V kn.: Materialy 18 Mezhdunarodnoy konferentsii (Shkoly) po morskoy geologii]*. Moscow; 2009; (4): 56–61. (in Russian)

Поступила 05.07.16

Принята к печати 16.01.17